昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，February 2005，48(1)：61 – 67　　ISSN 0454-6296

粘虫迁出与迁入种群的行为和生理特性比较

江幸福，罗礼智*

(中国农业科学院植物保护研究所，北京　100094)

摘要：系统比较了田间粘虫 *Mythimna separata* (Walker)迁出与迁入种群在飞行能力、飞行肌干重、卵巢发育、交配以及保幼激素滴度等指标的差异。结果显示，迁出种群的飞行潜力显著强于迁入种群，雌蛾中胸背纵肌平均干重(6.53 mg)也显著高于迁入种群(5.92 mg)，但卵巢发育程度显著低于迁入种群；迁出种群的交配率和平均交配次数均显著低于迁入种群；早期迁入的雌蛾卵巢发育级别和交配率相对较低，并随迁入时间的延长而增加。迁出与迁入种群雌蛾的保幼激素滴度也存在显著差异，两者的 JHⅡ滴度平均分别为 4.63 ng/mg 和 8.69 ng/mg。这些结果说明，粘虫迁飞前后的行为、生理和生殖特性具有明显的变化，迁出种群具有较强的飞行潜力，生殖系统的发育受到暂时性抑制；而迁入种群飞行能力下降，卵巢发育级别较高，交配率增加。同一世代早期迁入的雌蛾卵巢发育程度较低，表明粘虫迁飞是发生在成虫发育的初期，迁飞过程中卵巢发育受到暂时性抑制，迁入以后便迅速发育并开始繁殖。粘虫迁飞的行为和生理特性与"卵子发生-飞行拮抗综合症候(oogenesisi-flight syndrome)"相符。内分泌激素(保幼激素)在其迁飞与生殖的转换过程中起着重要的调控作用。

关键词：粘虫；迁入种群；迁出种群；卵子发生-飞行拮抗综合症候；保幼激素滴度

中图分类号：Q968　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0454-6296(2005)01-0061-07

Comparison of behavioral and physiological characteristics between the emigrant and immigrant populations of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker)

JIANG Xing-Fu, LUO Li-Zhi* (Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: Behavioral and physiological characteristics of the emigrant and immigrant populations of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) moths trapped in field in Ganyu County, Jiangsu Province and Shenyang suburb, Liaoning Province were examined. The results indicated that moths of the emigrant population exhibited stronger flight potential than that of the immigrant population. The flight distance, total flight duration and average flight speed in the emigrant population were 13.6 km, 153.1 min and 5.1 km/h, while in the immigrant population were 6.0 km, 64.3 min and 4.9 km/h, respectively. All of the flight potential variables except flight speed in the immigrant population were significantly less than those in the emigrant population. Dry weight of the thoracic dorsal-longitudinal muscle in female in the emigrant population was 6.53 mg, significantly higher than the value of 5.92 mg in the immigrant population. Most females in the emigrant population exhibited little or no ovarian development and were seldom mated, and mean basal ovariole width, length, wet weight, mating rate and frequency were 0.21 mm, 4.01 cm, 16.34 mg, 27.5% and 0.32 respectively, which were significantly lower than those of 0.51 mm, 5.43 cm, 56.7 mg, 98% and 1.44 in the immigrant population. In addition, the ovarian development and mating rate in the immigrant females early trapped were lower than those later trapped and increased as trapping time prolonged. Juvenile hormone titer (JHⅡ) in the emigrant population was 4.63ng/mg, also significantly lower than that of 8.69 in the immigrant population. Comparison of all of these variables between the emigrant and immigrant populations suggests that there are obvious trade-off between flight and reproduction. The migrants have strong flight potential, and reproduction activities are depressed before migration,

基金项目：国家"973"项目(G2000016206)

作者简介：江幸福，男，1970 年出生，安徽怀宁人，博士，助理研究员，主要从事昆虫迁飞的生理、生态调控机制以及分子生态学研究，E-mail: jxf54@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: lzluo@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2004-03-30；接受日期 Accepted: 2004-11-24

while mating and oviposition begin rapidly after they arrive at new habitats. This model fits the "oogenesis-flight syndrome" hypothesis well. The juvenile hormone plays a significant role in the trade-off process between flight and reproduction in the female.

Key words: *Mythimna separata*; emigrant population; immigrant population; oogenesis-flight syndrome; juvenile hormone titer

昆虫迁飞是在空间上适应环境变化的一种行为方式,也是寻觅新生境的一种行为对策(Southwood, 1977; Rankin and Burchsted, 1992)。迁飞不仅仅是昆虫在生境之间的转移,而且还有行为和生理学的标准。Kennedy(1985)认为昆虫的迁飞行为是一种持续性的单向运动,既受昆虫内在因素的控制也受其借助载体而飞行的影响,生理上会有一些对固有的发育模式暂时性抑制从而专致于飞翔,但最终会解除抑制。昆虫迁飞前要做好飞行的准备,如较为完善的飞行肌发育和较多的飞行能源储备,迁飞过程中不受外界或内部因素的干扰,暂时性地抑制一些植物性反射弧(如卵巢发育、交配及产卵)而最大限度地发挥运动性功能,一旦迁飞结束后,其运动功能便得到抑制而卵巢很快发育成熟并交配产卵。Johnson(1969)把雌性昆虫这种飞行与生殖相拮抗、交替进行的过程叫做"卵子发生-飞行拮抗综合症候(oogenesis-flight syndrome)"。这种观点虽然遭到了一些非议(Gum and Gatehouse, 1988; Sappington and Showers, 1992; Blackmer *et al*., 1995; Isaacs and Byrne, 1998; Bellamy and Byrne, 2001),但仍被认为是多数昆虫迁飞的重要生理特性(Rankin, 1991; Dingle, 1996)。

粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 是一种季节性迁飞昆虫,每年在我国南北往返迁飞,最远的迁飞距离可达 1 400 km(李光博等,1964)。在其飞行与生殖的互作关系方面,已经明确成虫羽化后即具有一定的飞行能力,并随蛾龄的增长而逐渐增强,性成熟时达到最强,但随着成虫交配、产卵活动的开始,其飞行能力迅速下降(罗礼智等,1995)。飞行肌结构和发育是其具备较强飞行能力的物质保障,是将化学能转变为机械能的"发电机";粘虫蛾不仅具备适于飞行的飞行肌结构特点,而且在成虫发育的不同阶段,构成肌肉的肌原纤维及其内部结构、数量、大小均出现规律性的变化,雌蛾在产卵前飞行肌一直在生长,肌原纤维逐渐增粗,产卵后,飞行肌即行降解,肌原纤维变细,重量下降(罗礼智,1996)。雌蛾羽化后到产卵为止,卵巢是逐渐发育成熟的,卵巢管逐渐加粗,卵粒逐渐成熟。求偶、交配行为出现在羽化后 3~4 天(吴秋雁和郭郛,1964)。咽侧体活性与成虫生殖及飞行均密切相关(吴秋雁和郭郛,1963; Luo *et al*., 2001)。雌蛾生殖(交配、产卵)对飞行具"拮抗"作用,而飞行也可促进或抑制产卵,视飞行的雌蛾蛾龄及强度而定,表现出明显的"卵子发生-飞行拮抗综合症候"(罗礼智等,1995; 1999)。但这些结果均是在实验室条件下取得的,粘虫田间迁出和迁入种群的行为和生理特性以及迁飞与生殖的关系尚未有系统研究。本文根据田间诱捕的粘虫迁入与迁出种群在飞行能力、飞行肌干重、雌蛾卵巢发育、交配以及体内保幼激素滴度变化等方面系统研究其迁飞的行为、生理特性,进一步阐明"卵子发生-飞行拮抗综合症候"现象,从而加深对粘虫迁飞的行为和生理学理解。

1 材料与方法

1.1 试验虫源

根据粘虫越冬、迁飞行为规律,其在我国的越冬北界为北纬 33°左右(李光博,1979)。江苏省赣榆县和辽宁省沈阳市分别位于东经 122°25′和 119°68′,北纬 34°50和 41°11′,粘虫冬季在两地均不能越冬,故均无本地越冬虫源,每年 3~4 月份,粘虫蛾从南方越冬区羽化后主要向包括江苏省赣榆县的江淮流域迁飞,形成越冬代迁入种群,此时诱捕的粘虫蛾均为迁入种群。这代成虫迁入后交配、产卵、孵化出幼虫于 4~5 月份主要危害麦类作物,并于 5 月底和 6 月初羽化后大部分向东北、西北等方向迁飞,此时诱捕的大部分则为迁出种群。与此同时,东北、西北等地区开始出现迁入种群,6 月份在辽宁沈阳诱捕的粘虫蛾均为迁入种群。这代成虫的下代幼虫于 6~7 月份危害当地农作物后,大部分于 7 月下旬和 8 月上中旬羽化,向南回迁到北纬 36°~39°之间,形成迁出种群,因此 7~8 月份诱捕的大部分为此地的迁出种群(李光博等,1964; 林昌善,1990)。本实验虫源即分别为 2002 年 3~4 月份和 6 月份在江苏省赣榆县用新鲜杨柳树枝把并在其上喷上一定量的糖、酒、醋混和液(1:3:2)诱捕的粘虫蛾迁入和迁出种群,以及

6 月份和 7～8 月份在辽宁省沈阳市郊用同样的方法诱捕的迁入和迁出种群。

1.2　飞行能力、飞行能源物质含量和飞行肌干重测定

为明确粘虫迁飞前后飞行行为和生理差异，分别对迁入和迁出种群的飞行能力和飞行肌发育情况进行比较。成虫诱捕后，不给补充营养即带回室内进行吊飞测试，具体吊飞方法同江幸福等(1998)。吊飞温、湿度分别为 20℃、RH 70%，在完全黑暗的条件下进行，测试时间为 22 h。在粘虫中，背纵肌和背腹肌几乎占据了整个胸腔，尤其是中胸背纵肌，是粘虫胸部最大的一块肌肉，将诱捕的粘虫雌蛾在 50～60℃下烘干 48 h 至恒重后，用针尖将中胸背纵肌从胸部分离出来称重。

1.3　生殖及交配行为特性

为明确粘虫迁飞前后在生殖行为和生理特性的差异，分别对迁入和迁出种群雌蛾生殖系统进行解剖。将雌蛾腹部与胸部分离出来，置于装有清水的培养皿中，剪开腹部体壁，在清水中取出卵巢，清除上面粘附的脂肪体等组织，测量卵巢小管基部到端部的长度，并在双筒显微镜下测量卵巢小管最宽处的宽度，然后用滤纸吸干清水，称取卵巢鲜重。卵巢发育级别采用 7 级分类法(林昌善，1990)。雌蛾交配与否以及交配次数根据受精囊中精珠数目确定。

1.4　雌蛾保幼激素滴度测定

采用美国惠普公司 HP1100 分析型高效液相色谱仪(HPLC)对迁入和迁出种群雌蛾体内保幼激素(JH)滴度进行测定，以十八烷基键合硅胶为填充剂(Agilent 柱，4.6 mm × 250 mm)，以甲醇∶水(V∶V = 80∶20)为流动相，流速 0.6 mL / min，紫外检测波长 218 nm，采用外标法，以峰面积定量。JHⅠ、JHⅡ、JHⅢ 标准样品分别由捷克 Scitech、Sigma 公司提供。甲醇、正己烷、乙醚均为北京化学试剂公司产品，分析纯，抽滤后备用。提取液为甲醇∶乙醚(V∶V) = 1∶1 。样品制备如下：去翅虫体置于玻璃匀浆器，加入提取液，匀浆；超声波破碎仪振荡 3～5 min 后加入 2 mL 正己烷继续超声波破碎振荡 10 min；离心，4℃，4 000 r/min，10 min，取上清液；用正己烷反复抽提 5 次，合并上清液；上机前用高纯氮气吹干，用流动相定容(1 mg/μL)，进样量为 20 μL(云自厚等，1992；戴华国等，2001)。

1.5　数据处理

应用 SAS 统计软件，对两地迁入和迁出粘虫蛾的行为和生理指标进行方差分析，统计显著后用 Duncan 多重比较法进行差异显著性测定。成组数据的差异显著性用 t 测验。

2　结果与分析

2.1　飞行能力

对田间诱捕的江苏赣榆粘虫种群飞行能力测定表明，迁出种群飞行能力明显比迁入种群的强，表现在飞行距离、飞行总时间显著比迁入种群的长($P < 0.05$，表 1)，但平均飞行速度差异不显著($P > 0.05$)。这说明越冬代粘虫蛾从南方越冬区迁出后，经过较长时间的飞行到达江淮流域栖息地时，飞行能力迅速下降，而在栖息地繁殖 1 代后，羽化的成虫继续向北迁飞前具有较强的飞行能力，从而保证迁飞行为的成功。

表 1　粘虫迁入与迁出种群飞行能力(江苏赣榆)

Table 1　Flight capacity in adults from the immigrant and emigrant populations of *Mythimna separata* in Ganyu County，Jiangsu Province

种群 Populations	虫数(头) Number of adults tested	飞行距离(km) Flight distance	飞行时间(min) Flight duration	飞行速度(m/s) Flight speed
迁入 Immigrant	61	6.11 ±9.95 a	64.26 ± 90.42 a	4.96 ± 2.96 a
迁出 Emigrant	38	13.61 ± 17.45 b	153.05 ± 176.65 b	5.13 ± 2.15 a

表中数据为平均数 ± 标准差。数据后有不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。
The data in the table are presented as mean ± SD; the means in the same column followed by different letters are significantly different by t-test ($P < 0.05$). The same for the following tables and figures.

2.2　飞行肌

江苏赣榆和辽宁沈阳两地粘虫迁入和迁出种群雌蛾中胸背纵肌干重均有显著差异($P < 0.05$，图 2)。均表现为迁出种群背纵肌干重显著大于迁入种群的($P < 0.05$)，从而表明迁飞前粘虫蛾飞行肌正在不断发育并为迁飞做好准备，迁飞时飞行肌发育较为成熟、肌原纤维粗壮、较重，此时成虫飞行能力较强，这与迁出种群的飞行能力显著强于迁入种群

的结果一致。迁飞结束后，即粘虫蛾通过远距离迁飞到达适宜的栖息地时，雌蛾交配、产卵后，其飞行肌开始降解，肌原纤维变细，重量下降。对同一迁飞世代(江苏赣榆6月上中旬迁出的粘虫蛾与辽宁沈阳6月上中旬迁入蛾)雌蛾中胸背纵肌干重测定表明，江苏赣榆诱捕的雌蛾背纵肌干重显著高于辽宁沈阳的($P < 0.05$)，再次说明粘虫蛾迁飞前飞行肌发育较为完善，到达栖息地时飞行肌开始降解。

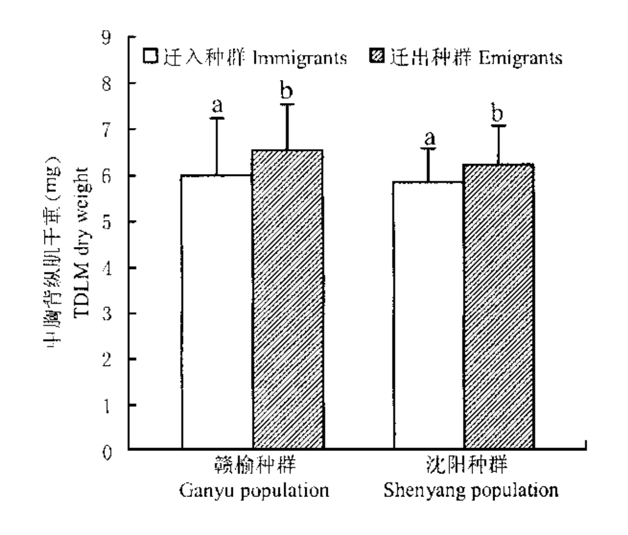


图1 江苏赣榆和辽宁沈阳粘虫迁入和迁出种群雌蛾中胸背纵肌干重比较

Fig. 1 Comparison of dry weight of thoracic dorsal longitudinal muscle (TDLM) in female moths from the immigrant and emigrant populations of *M. separata* in Ganyu County, Jiangsu Province and Shenyang suburb, Liaoning Province

图中数据为平均数±标准差。检查蛾数从左到右依次为61，60，45，50。

Data are presented as mean ± *SD*. The sample size from left to right is 61, 60, 45 and 50, respectively.

2.3 卵巢发育及交配

对江苏赣榆和辽宁沈阳两地的粘虫迁入和迁出种群雌蛾卵巢解剖结果表明，两地的迁入和迁出种群卵巢发育和交配均有显著差异($P < 0.05$，表2)，均表现为迁出种群卵巢发育级别和交配率较低，而迁入种群大部分卵巢已发育成熟，交配率达96%～100%，且多数雌蛾已交配多次，最多的达4次，有的已经产下相当数目成熟的卵粒；迁入种群雌蛾交配囊中的精珠数、卵巢管的长度、宽度以及卵巢鲜重均显著高于迁出种群的相应值($P < 0.05$)。

同一时期不同迁飞性质的成虫生殖状况也有明显的差异。江苏赣榆6月上中旬迁出的粘虫蛾卵巢发育级别和交配次数均显著低于辽宁沈阳6月上中旬迁入蛾($P < 0.05$，表2)，再次说明粘虫蛾经过远距离迁飞到达栖息地时，卵巢均已发育成熟，从而为其及时繁衍后代提供了保证。从两地发蛾期间不同时间诱捕的迁入雌蛾卵巢发育级别来看，同一迁飞种群内有显著的差异($P < 0.05$)，首次诱捕的迁入雌蛾卵巢发育级别较低，并随迁入时间的延长而增加。3月24日(图2)和6月7日(图3)诱捕的雌蛾分别是赣榆和沈阳两地当年初始出现的迁入种群，其卵巢发育级别与后期诱捕的相比均较低，且交配率也较低。这表明粘虫的迁飞是发生在幼嫩阶段，并且在迁入时卵巢依然处于相对未成熟阶段，粘虫蛾在迁飞过程中可能存在暂时性的抑制卵巢发育和交配现象。

表2 江苏赣榆和辽宁沈阳粘虫迁入和迁出种群雌蛾卵巢发育及交配状况

Table 2 Ovarian development and mating status in the immigrant and emigrant female moths of *M. separata* in Ganyu County, Jiangsu Province and Shenyang suburb, Liaoning Province

地区 Areas	种群 Populations	检查虫数 Number of adults examined	卵巢管 Ovariole		卵巢鲜重 Ovary wet weight (mg)	精珠数 Number of spermatophores
			长度 Length (cm)	宽度 Width (mm)		
赣榆 Ganyu	迁入 Immigrant	61	5.36±1.26 a	0.53±0.10 a	52.95±25.06 a	1.85±0.51 a
	迁出 Emigrant	60	3.62±0.90 b	0.21±0.11 b	17.05±10.31 b	0.22±0.42 b
沈阳 Shenyang	迁入 Immigrant	45	5.49±1.93 a	0.49±0.15 a	60.46±28.53 a	1.02±0.34 a
	迁出 Emigrant	50	4.39±1.12 b	0.21±0.10 b	15.62±6.45 b	0.42±0.64 b

2.4 保幼激素滴度

江苏赣榆和辽宁沈阳两地的迁出种群雌蛾体内JHⅡ滴度均显著低于迁入种群($P < 0.05$，图4)。这说明较低的保幼激素滴度有利于成虫迁飞(迁出种群)，较高则有利于其降落定殖。同一迁飞世代迁出和迁入种群雌蛾的JHⅡ滴度无显著差异($P > 0.05$)，尽管辽宁沈阳迁入种群雌蛾的JHⅡ滴度保持在一个相对较低的水平。进一步分别对不同时间在两地诱捕的迁入和迁出种群雌蛾的JHⅡ滴度测定表明，无论是4月上中旬在江苏赣榆诱捕的越冬

代迁入种群，还是 6 月份在辽宁沈阳诱捕的迁入种群，均表现为雌蛾的 JH Ⅱ 滴度随诱捕时间的不同而差异显著（$P<0.05$），而 6 月份在江苏赣榆以及 7～8 月份在辽宁沈阳不同时间诱捕的迁出种群雌蛾的保幼激素水平均较低且无显著差异（$P>0.05$）。这可能与迁出种群卵巢均处于幼嫩期，而迁入种群尽管卵巢均已成熟，但成熟的程度不整齐（有的雌蛾已产出部分卵）有关。

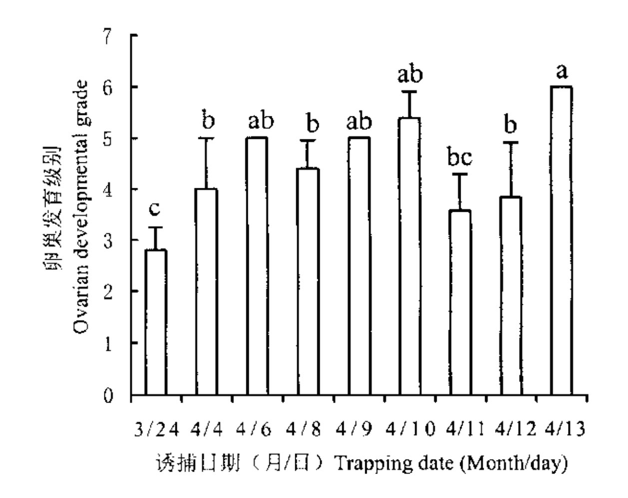


图 2　不同时间诱捕的江苏赣榆粘虫迁入种群雌蛾卵巢发育级别

Fig. 2　Ovarian developmental grade of *M. separata* immigrant population into Ganyu County, Jiangsu Province

检查蛾数从左到右依次为 5，7，3，5，7，8，9，11，6。

The sample size from left to right is 5, 7, 3, 5, 7, 8, 9, 11 and 6, respectively.

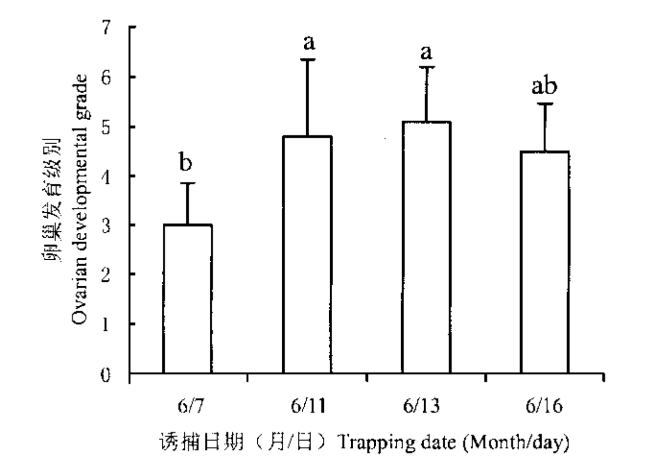


图 3　不同时间诱捕的辽宁沈阳粘虫迁入种群雌蛾卵巢发育级别

Fig. 3　Ovarian developmental grade of *M. separata* immigrant population into Shenyang suburb, Liaoning Province

检查蛾数从左到右依次为 15，10，10，10。

The sample size from left to right is 15, 10, 10 and 10, respectively.

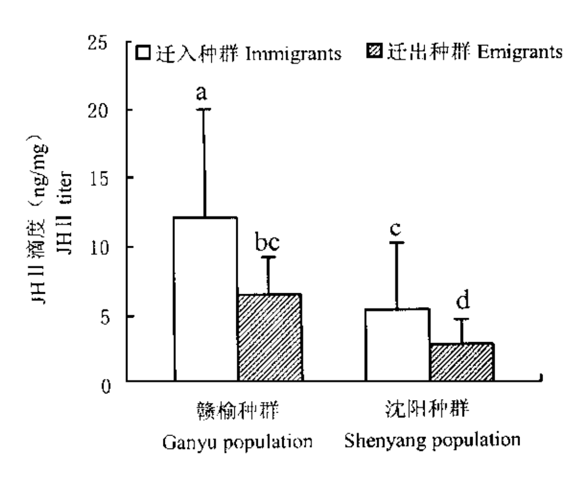


图 4　江苏赣榆和辽宁沈阳粘虫迁入和迁出种群雌蛾的 JH Ⅱ 滴度

Fig. 4　JH Ⅱ titer in female moths from the immigrant and emigrant populations of *M. separata* in Ganyu County, Jiangsu Province and Shenyang suburb, Liaoning Province

检查蛾数从左到右依次为 55，29，35，32。

The sample size from left to right is 55, 29, 35, 32, respectively.

3　讨论

3.1　粘虫迁飞的行为、生理特性

粘虫的季节性迁飞活动在行为、生理和生殖方面具有显著的适应特征。迁出种群的飞行潜力显著强于迁入种群，并且飞行肌相对发育完善，生殖上表现为迁出种群的卵巢发育程度较低，大部分雌蛾均为处女蛾。而迁入种群飞行潜力下降，飞行肌开始降解，卵巢迅速发育成熟，大多数雌蛾均已交配，有的卵巢管中卵粒已经成熟，或已经产出了相当部分的卵。另外，初始出现的迁入种群雌蛾卵巢发育级别明显低于后期的结果也表明粘虫在迁飞过程中雌蛾卵巢发育在很大程度上受到了抑制，到达栖息地后，成虫开始大量取食，寻找配偶，卵巢迅速发育成熟。室内试验也表明粘虫在吊飞期内，雌蛾卵巢不发育，雄蛾也无性反应，飞翔结束后通过交配卵巢迅速发育成熟，是一种突变性过程（王玉正和张孝羲，2001）。田间放置性诱剂试验也表明迁出种群雄蛾对性诱剂基本无反应，而迁入种群对性诱剂反应强烈（韩尔宁等，1990），从而与雌蛾抑制卵巢发育和交配的“生殖滞育”相配合。粘虫这种迁飞前卵巢处于幼嫩期，迁飞过程中暂时地抑制生殖而发展飞行系统，迁飞结束后抑制飞行而生殖系统迅速发育成熟的交替过程，明显符合“卵子发生-飞行拮抗综合症候”现象，并且也符合 Kennedy（1985）的迁飞概念。

McNeil(1987)对一点粘虫 *Pseudaletia unipuncta* 迁飞的研究也表明,迁入种群卵巢发育成熟,且至少交配1次,雄蛾对性诱剂反应强烈,而迁出种群卵巢停止发育且很少交配,雄蛾对性诱剂也无趋性。

3.2 粘虫迁飞与生殖的激素调控

Johnson(1969)在提出"卵子发生-飞行拮抗综合症候"的同时,也指出这种综合症的本质是由于咽侧体分泌的保幼激素调控,这种观点后来也得到其他学者赞同(Rankin, 1991; Dingle, 1996)。在许多昆虫中,已经明确保幼激素具有影响飞行肌发育和降解的功能。如加州齿小蠹 *Ips confusus* 和蝽蟓 *Dysdercus fulvoniger* 较高的保幼激素水平可能与产卵的启动有关,从而导致飞行肌的降解(Borden and Slater, 1968; Davis, 1975)。另一方面,昆虫的飞行又可影响体内保幼激素水平,从而影响到生殖系统的发育。对飞蝗 *Locusta migratoria* 的研究表明,飞行可促使神经内分泌细胞释放刺激卵子生长和咽侧体活性的因子,即咽侧体活性的周期性变化与卵巢发育的关系可受飞行活动的影响(Highnam and Haskall, 1964)。在迁移蚱蜢 *Melanoplus sanguinipes* 中也有类似的现象(Rankin and Burchsted, 1992)。但对一点粘虫迁飞种群与非迁飞种群的保幼激素研究表明,非迁飞种群的保幼激素水平增长速度明显比迁飞种群快,最高值出现在非迁飞种群中,并且生殖(交配)均能使两个种群的保幼激素水平增高(McNeil *et al*., 2000)。粘虫生殖与咽侧体体积的变化也表明,交配后成虫咽侧体体积增大,保幼激素水平增高,卵巢发育加快(吴秋雁和郭郛,1963)。一点粘虫雌蛾的保幼激素水平与卵巢发育级别(卵巢管直径)也有显著的关系(Cusson *et al*., 1990)。由此可见,飞行和生殖(交配)均有可能刺激昆虫咽侧体释放保幼激素。粘虫迁入种群雌蛾体内保幼激素水平较高,是否是由于远距离的迁飞飞行还是到达栖息地后通过取食、交配激发保幼激素的分泌尚有待研究。但已有研究表明,粘虫飞行后体内保幼激素水平显著增高,且雌蛾卵巢发育加快(罗礼智等,1999)。既然粘虫迁入种群体内较高的保幼激素滴度总是伴随着成熟的卵巢、极高的交配率以及较弱的飞行能力和较不发达的飞行肌,那么保幼激素可能对卵巢和飞行肌发育均具有调控作用。应用外源保幼激素类似物对初羽化的粘虫处理表明,雌蛾处理后可提前产卵,其飞行能力及飞行能源物质含量也显著下降(Luo *et al*., 2001)。尽管尚无研究表明粘虫体内保幼激素如何调控飞行与生殖的交替转换,但不可否认,保幼激素其转换过程中起到重要的调控作用。

3.3 取样程序对结果的可能影响

粘虫蛾在野外的虫源关系较为复杂,本文将不同时间诱捕的粘虫蛾划分为迁入和迁出种群,除了依据粘虫蛾在我国的迁飞越冬规律外(李光博,1979),对其卵巢发育的解剖结果也充分肯定这种划分。如对江苏3~4月和辽宁6~7月份诱捕的雌蛾卵巢解剖表明,无论是在发蛾初期还是高峰期都有相当多的成熟个体,卵巢发育级别均较高,是典型的迁入种群特征。而江苏6月和辽宁7~8月诱捕的雌蛾在整个发蛾期内,其卵巢发育级别均较低,如若以本地虫源为主时,则在成虫发生前期或在高峰期雌蛾卵巢发育应以未成熟的一至二级为主,交配率较低,以后卵巢级别和交配率逐渐上升。因此排除了本地虫源为主的可能。另外,分别对两地不同时间诱捕的迁入和迁出种群雌蛾中胸背纵肌干重测定结果也表明,无论是在迁入种群还是迁出种群发蛾期间,不同时间诱捕的粘虫雌蛾中胸背纵肌干重均无显著差异($P > 0.05$)。这充分说明按月份在两地诱捕的粘虫蛾虫源的一致性,本地居留的虫源较少。但不可否认,同一地区粘虫迁入与迁出种群的行为、生理特性差异除了主要是由于迁飞前后变化所致,也不能排除昆虫世代间的差异以及同一世代不同生理状态或发育时间上的差异。

参 考 文 献 (References)

Bellamy DE, Byrne DN, 2001. Effects of gender and mating status on self-directed dispersal by the whitefly parasitoid *Eretmocerus eremicus*. *Ecol. Entomol*., 26: 571–577.

Blackmer JL, Lindley VA, Byrne DN, 1995. Histological examination of flight muscle development and breakdown in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): relationship to age and flight behavior. *Journal of Morphology*, 226: 213–221.

Borden JH, Slater, CE, 1968. Induction of flight muscle degeneration by synthetic juvenile hormones in *Ips confuses* (Coleoptera: Scolytidae). *Z. Vgl. Physiol*., 61: 366–368.

Cusson M, McNeil JN, Tobe S, 1990. *In vitro* biosynthesis of juvenile hormone by corpora allata of *Pseudaletia unipuncta* virgin females as a function of age, environmental conditions, calling behaviour and ovarian development. *J. Insect Physiol*., 36(2): 139–146

Dai HG, Wu XY, Wu SW, 2001. The change of juvenile hormone titer and its relation to wing dimorphism of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Acta Entomol. Sin*., 44(1): 27–32. [戴华国,吴小毅,武淑文,2001. 褐飞虱体内保幼激素滴度变化及其与翅型分化的关系. 昆虫学报,44(1): 27–32]

Davis NT, 1975. Hormonal control of flight muscle histolysis in *Dysdercus*

fulvoniger. *Ann*. *Entomol*. *Soc*. *Am*.，68：710－714.

Dingle H，1996. Migration：the Biology of Life on the Move. New York：Oxford University Press. 474－478

Gum A，Gatehouse AG，1988. The development of enzymes involved in flight muscle metabolism in *Spodoptera exempta and Mythimna separata*. *Comp*. *Biochem*.，91(2)：315－324.

Han EN，Zheng ZQ，Song ZS，1990. Differences between the responses of male oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker) to sex pheromone traps. *J*. *Nanjing Agricultural University*，13(3)：54－56.［韩尔宁，郑祖强，宋祖舜，1990.粘虫不同迁飞世代雄蛾对性诱反应的田间观察.南京农业大学学报，13(3)：54－56］

Highnam KC，Haskell PT，1964. The endocrine system of isolated and crowed *Locusta* and *Schistocerca* in relation to oocyte growth，and the effects of flying upon maturation. *J*. *Insect Physiol*.，10：849－864.

Isaacs R，Byrne DN，1998. Aerial distribution，flight behavior and egg load：their inter-relationship during dispersal by the sweetpotato whitefly. *J*. *Anim*. *Ecol*.，67：741－750.

Jiang XF，Luo LZ，Hu Y，1998. The relationship between flight capacity and moth ages of the beet armyworm，*Spodoptera exigua*. In：Cheng DF ed. The 21st Century Prospect of Plant Protection. Beijing：China Science and Technology Press. 568－571.［江幸福，罗礼智，胡毅，1998.甜菜夜蛾飞行能力及其与蛾龄的关系.程登发 主编.植物保护二十一世纪展望.北京：中国科学技术出版社.568－571］

Johnson CG，1969. Migration and Dispersal of Insects by Flight. London：Methuen. 763－765

Kennedy JS，1985. Migration，behavioural and ecological. In：Rankin MA ed. Migration：Mechanisms and Adaptive Significance. *Contributions in Marine Science*，27(Suppl.)：7－26.

Li GB，Wang HX，Hu WX，1964. Route of the seasonal migration of the oriental armyworm moth in the eastern part of China as indicated by a three-year result of releasing and recapturing of marked moths. *Acta Phytophylacica Sinica*，3(2)：101－110.［李光博，王恒祥，胡文绣，1964.粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验.植物保护学报，3(2)：101－110］

Li GB，1979. Integrated pest management of the oriental armyworm. In：Institute of Zoology，Chinese Academy of Sciences ed. The Integrated Pest Management in China. Beijing：Science Press. 301－319.［李光博，1979.粘虫的综合防治.见：中国科学院动物研究所 主编.中国主要害虫防治.北京：科学出版社.301－319］

Lin CS，1990. The Physiology and Ecology of the oriental armyworm，*Mythimna separata* (Walker). Beijing：Beijing University Press. 22－25.［林昌善，1990.粘虫生理生态学.北京：北京大学出版社. 22－25，271－275］

Luo LZ，Li GB，Hu Y，1995. Relationship between flight capacity and oviposition of oriental armywom *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*，38(3)：284－289.［罗礼智，李光博，胡毅，1995.粘虫飞行与产卵的关系.昆虫学报，38(3)：284－289］

Luo LZ，1996. An ultrastructural study on the development of flight muscle in adult oriental armywom，*Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*，39(4)：366－374.［罗礼智，1996.粘虫蛾飞行肌的发育：超微结构特征分析. 昆虫学报，39(4)：366－374］

Luo LZ，Jiang XF，Li KB，Hu Y，1999. Influences of flight on reproduction and longevity of the oriental armywom，*Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*，42(2)：150－158.［罗礼智，江幸福，李克斌，胡毅，1999. 粘虫飞行对生殖及寿命的影响. 昆虫学报，42(2)：150－158］

Luo LZ，Li KB，Jiang XF，Hu Y，2001. Regulation of flight capacity and contents of energy substances by methoprene in the moth of oriental armyworm，*Mythimna separata*. *Entomologia Sinica*，8(1)：63－72.

McNeil JN，1987. The true armyworm，*Pseudaletia unipuncta*：a victim of the pied piper or a seasonal migrant? *Insect Sci*. *Appl*.，8(4/5/6)：591－597.

McNeil JN，Miller D，Laforge M，Cusson M，2000. The biosynthesis of juvenile hormone，its degradation and titres in females of the true armyworm：a comparison of migratory and non-migratory populations. *Physiolol*. *Entomol*.，25：103－111.

Rankin MA，1991. Endocrine effects on migration. *American Zoologist*，31：217－230.

Rankin MA，Burchsted JCA，1992. The cost of migration in insects. *Annu*. *Rev*. *Entomol*.，37：533－559.

Sappington TW，Showers WB，1992. Reproductive maturity，mating status，and long duration flight behavior of *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera：Noctuidae) and the conceptual misuse of the oogenesis-flight syndrome by entomologists. *Environ*. *Entomol*.，21：677－688.

Southwood TRE，1977. Habitat，the templet for ecological strategies? *J*. *Anim*. *Ecol*.，46：337－465.

Wang YZ，Zhang XX，2001. Studies on the migratory behaviours of oriental armyworm，*Mythimna separata* (Walker). *Acta Ecologica Sinica*，21(5)：772－779.［王玉正，张孝羲，2001.粘虫 Mythimna separata (Walker)迁飞行为研究.生态学报，21(5)：772－779］

Wu QY，Guo F，1963. Effects of corpus allatum on ovary development in female of oriential armywom. *Acta Entomologica Sinica*，12(4)：402－411［吴秋雁，郭郛，1963.粘虫咽侧体对卵巢发育与成熟的影响.昆虫学报，12(4)：402－411］

Wu QY，Guo F，1964. Studies on the reproduction of the oriental armywom *Leucania separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*，13(6)：795－802［吴秋雁，郭郛，1964.粘虫生殖的研究.昆虫学报，13(6)：795－802］

Yun ZH，Yang YF，Jiang ZJ，Chen X，1992. Analysis of juvenile hormone in *Haemaphysalis longicomis* by HPLC. *J*. *Beijing Normal University* (*Natural Science*)，28(2)：200－203.［云自厚，杨轶帆，姜在阶，陈湘，1992.用 HPLC 测定长角血蜱中的保幼激素.北京师范大学学报(自然科学版)，28(2)：200－203］

（责任编辑：袁德成）